

PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 10-200208
 (43)Date of publication of application : 31.07.1998

(51)Int.Cl.

H01S 3/18
 H01L 23/38
 H01L 35/32

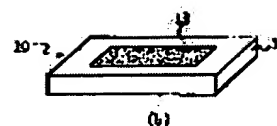
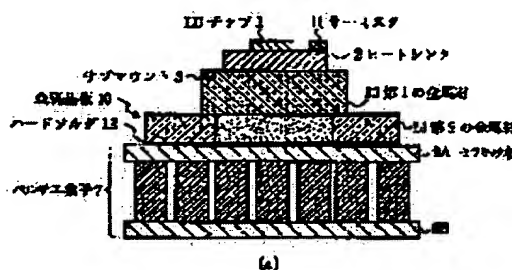
(21)Application number : 09-002115 (71)Applicant : NEC CORP
 (22)Date of filing : 09.01.1997 (72)Inventor : IDEI YOSHIHIRO

(54) SEMICONDUCTOR LASER MODULE

(57)Abstract:

PROBLEM TO BE SOLVED: To attain high temperature environment reliability as well as improve cooling ability, following a higher output of a semiconductor laser diode chip.

SOLUTION: The semiconductor laser module comprises a metal substrate 10 where an LD chip 1 and a lens are mounted, and a Peltier element 7 comprising ceramics plates 9a and 9b, with the metal plate 10 bonded to the upper part of the Peltier element 7 through a metal solder 12. Especially, the metal substrate 10 is formed of the first metal member 13 of high thermal conductivity and the second metal member 14, of a smaller thermal expansion coefficient than the first metal member 13, assigned around the side surface of first metal member 13.



LEGAL STATUS

[Date of request for examination] 09.01.1997
 [Date of sending the examiner's decision of rejection] 16.08.2000
 [Kind of final disposal of application other than

the examiner's decision of rejection or
application converted registration]

[Date of final disposal for application]

[Patent number]

[Date of registration]

[Number of appeal against examiner's
decision of rejection]

[Date of requesting appeal against examiner's
decision of rejection]

[Date of extinction of right]

Copyright (C); 1998,2000 Japan Patent Office

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開平10-200208

(43) 公開日 平成10年(1998) 7月31日

(51) Int.Cl.⁵

識別記号

F I

H 0 1 S 3/18

H 0 1 S 3/18

H 0 1 L 23/38

H 0 1 L 23/38

35/32

35/32

A

審査請求 有 請求項の数 5 O L (全 7 頁)

(21) 出願番号 特願平9-2115

(22) 出願日 平成9年(1997) 1月9日

(71) 出願人 000004237

日本電気株式会社

東京都港区芝五丁目7番1号

(72) 発明者 出井 義浩

東京都港区芝五丁目7番1号 日本電気株式会社内

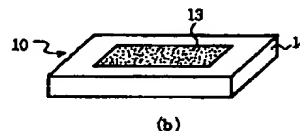
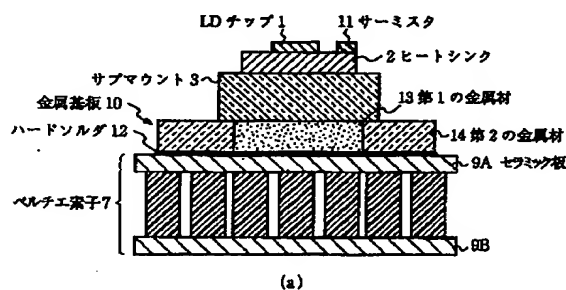
(74) 代理人 弁理士 京本 直樹 (外2名)

(54) 【発明の名称】 半導体レーザーモジュール

(57) 【要約】

【課題】半導体レーザーダイオードチップの高出力化に伴い、冷却能力の向上を図ると同時に、高い温度環境信頼度を得ることにある。

【解決手段】この半導体レーザーモジュールは、LDチップ1およびレンズを搭載する金属基板10と、セラミック板9A、9Bを持ったペルチェ素子7とを有し、金属基板10をペルチェ素子7の上部に金属溶ダ12を介して接着する。特に、金属基板10は、熱伝導率の大きい第1の金属部材13と、第1の金属部材13の側面周囲に配置され、その第1の金属部材13よりも熱膨張率の小さい第2の金属部材14とで形成している。



【特許請求の範囲】

【請求項1】 半導体レーザーダイオードチップおよびレンズを搭載する金属基板と、ペルチェ素子とを備え、前記金属基板を前記ペルチェ素子の上部に金属溶ダを介して接着する半導体レーザーモジュールにおいて、前記金属基板を熱伝導率の大きい第1の金属部材と、前記第1の金属部材よりも熱膨張率の小さい第2の金属部材とで形成することを特徴とする半導体レーザーモジュール。

【請求項2】 前記金属基板は、前記第1の金属部材の側面周囲に前記第2の金属部材を配置した請求項1記載の半導体レーザーモジュール。

【請求項3】 前記金属基板を形成する前記第1の金属部材は、30%銅タングステンよりも大きい熱伝導率を有する部材を用い、前記第2の金属部材は、コパールおよび20%銅タングステンの間の熱膨張率を有する部材を用いる請求項2記載の半導体レーザーモジュール。

【請求項4】 前記金属基板は、前記第1の金属部材および前記第2の金属部材が前記半導体レーザーダイオードチップによって生ずる熱流の方向と平行になるように形成した請求項2記載の半導体レーザーモジュール。

【請求項5】 前記金属基板は、前記第1の金属部材を複数個に分割し、前記第2の金属部材の全面にほぼ等間隔で配置した請求項4記載の半導体レーザーモジュール。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は冷却機能を備えた（クーラー付き）半導体レーザーモジュールに関し、特にペルチェ素子上に固定される金属基板の改良に関する。

【0002】

【従来の技術】従来、半導体レーザーモジュールは、光ファイバ通信、特に幹線系・CATVの信号光源やファイバアンプの励起光源として用いられている。かかる半導体レーザーモジュールは、高出力且つ安定動作を実現できるように、電子冷却器であるペルチェ素子を内蔵し、そのペルチェ素子上部に搭載された金属基板上にレーザーダイオードチップ、フォトダイオードチップ、レンズ等の光学部品、サーミスタ素子、インダクタあるいは抵抗等の電気部品を配置している。

【0003】この半導体レーザーモジュールは、上述したレーザーダイオードチップの近傍に接着されたサーミスタ素子によって検出された温度値をフィードバックしてペルチェ素子を駆動させることにより、金属基板全体を冷却し、レーザーダイオードチップ温度を一定に保つ構造を備えている。

【0004】このようなクーラー付き半導体レーザーモジュールは、例えば特開昭62-117382号公報、あるいは特開昭62-276892号公報などで知られ

ている。

【0005】図5は従来の一例を示す半導体レーザーモジュールの構成図である。図5に示すように、このレーザーモジュールは内部の側面の外観を表わし、レーザーダイオードチップ1およびヒートシンク2を搭載したマウント3と、モニター用フォトダイオードチップ4を搭載したチップキャリア5と、レンズホルダ6と、図示省略した抵抗体、インダクタや回路基板等を接着した金属基板10aと、この金属基板10aを金属溶ダで上部に接着したペルチェ素子7とを備え、かかるペルチェ素子7をパッケージ放熱板8上に金属溶ダで固定して構成される。なお、ペルチェ素子7の上下には、セラミック板9A、9Bが配置される。

【0006】図6は図5における半導体レーザーモジュールのA-A'断面図である。図6に示すように、この半導体レーザーモジュールの主要部は、ヒートシンク2上にレーザーダイオードチップ1の他にサーミスタ11を搭載し、ペルチェ素子7と金属基板10aとを接着する金属溶ダとして、両者の熱膨張差を緩和するために、ソフト溶ダ22を用いている。

【0007】図7(a)、(b)はそれぞれ図6の金属基板の2つの例を表わす斜視図である。図7(a)に示すように、この金属基板10aは、製造上簡略化するため、コパールや鉄(Fe)あるいは銅タングステン等の単一材質で形成した例である。

【0008】また、図7(b)に示すように、この金属基板10aは、上下の銅層16と中間のモリブデン層17との三層構造(20%銅モリブデン)で形成された例である。

【0009】

【発明が解決しようとする課題】上述した従来のクーラー付き半導体レーザーモジュールは、レーザーダイオードチップ等を搭載する金属基板として、銅タングステン(CuW:銅の重量配分比10%から30%のものが存在)等の単一材質のものが用いられ、またかかる金属基板とペルチェ素子との接着には、両者の熱膨張差を緩和するために、インジウム錫(InSn)などの低温ソフト溶ダが用いられてきた。

【0010】しかし、近年半導体レーザーダイオードチップの高出力化に伴い、クーラー機能付き半導体レーザーモジュールの冷却能力と温度環境信頼度に対する要求が厳しくなっている。

【0011】まず、冷却能力向上のためには、ペルチェ素子を大型化したり、上部に搭載する金属基板の高熱伝導材質化を図る必要があるが、ペルチェ素子の冷却能力向上に伴う温調タイム(目的の温度に達するまでの時間)の短縮により、ペルチェ素子上部に搭載した金属基板への温度ストレスも大きくなる。そのため、ペルチェ素子と金属基板の熱膨張率差の影響が大きくなり、両者を接着するソフト溶ダの蠕動により亀裂剥離を生じさ

せるという問題が生ずる。しかも、ソフトソルダ特有のハンダクリープ現象も顕著になるため、ベルチェ素子と金属基板とを接着させるソルダには、ビスマス錫 (Bi Sn) 等の低温ハードソルダを用いる必要がある。

【0012】しかし、この低温ハードソルダを用いる場合、ベルチェ素子、正確にはベルチェ素子を構成するセラミック板と金属基板との熱膨張率差が大きいと、ベルチェON/OFFサイクル試験の如く、急峻な温度変化を伴う温度環境試験によりベルチェ素子を破壊してしまうため、ベルチェ素子と金属基板の熱膨張率差が従来の熱膨張率差よりも一層小さい範囲に入るような材質を選定する必要がある。

【0013】また、上述したような温度環境試験を満足させること、すなわち温度環境信頼度を向上させるためには、熱膨張率差の選定だけでなく、構造上も小さくなるため、冷却能力を落してしまうという問題がある。

【0014】例えば、ベルチェ素子を構成するセラミック板には、通常窒化アルミ (AlN) やアルミナ (Al₂O₃) が用いられるため、金属基板の材質としてはコパールから20%銅タングステン (CuW-20) を選定する必要がある。しかし、この金属基板の材質は、半導体レーザーダイオードチップの発熱量増大に対する冷却性能向上の点から不利である。しかも、金属基板の代りに、炭化シリコン (SiC) や窒化ボロン (BN) を用いれば、熱伝導率が良く、熱膨張率の適正なベルチェ素子に近い材質として使用可能ではあるが、金属に比べて高価になり、量産性の点で劣ってしまう。

【0015】前述した特開昭62-276892号公報などでは、低温ソフトソルダの使用を前提としているが、これらの技術にハードソルダを用いるとすれば、使用できる台座の材質は、20%銅タングステン以下の熱伝導率を有する材質のものとなり、冷却性能の低下を招くことになる。

【0016】要するに、上述した従来のクーラー機能付き半導体レーザーモジュールにおいては、冷却能力の向上と温度環境信頼度の向上とが、互いに相反する問題となっている。

【0017】本発明の目的は、高出力動作時のベルチェ素子冷却能力を向上させるとともに、ベルチェ素子およびその上部に搭載する金属基板の熱膨張率差を小さくして温度変動環境化でのベルチェ素子に与えるダメージを軽減し、温度環境信頼度の向上を実現する半導体レーザーモジュールを提供することにある。

【0018】

【課題を解決するための手段】本発明の半導体レーザーモジュールは、半導体レーザーダイオードチップおよびレンズを搭載する金属基板と、ベルチェ素子とを備え、前記金属基板を前記ベルチェ素子の上部に金属ソルダを介して接着する半導体レーザーモジュールにおいて、前記金属基板を熱伝導率の大きい第1の金属部材と、前記

第1の金属部材よりも熱膨張率の小さい第2の金属部材とで形成して構成される。

【0019】また、本発明の半導体レーザーモジュールにおける金属基板は、第1の金属部材の側面周囲に第2の金属部材を配置して形成される。

【0020】また、本発明の半導体レーザーモジュールにおける金属基板の第1の金属部材は、30%銅タングステンよりも大きい熱伝導率を有する部材を用い、第2の金属部材は、コパールおよび20%銅タングステンの間の熱膨張率を有する部材を用いて形成される。

【0021】また、本発明の半導体レーザーモジュールにおける金属基板は、第1の金属部材および第2の金属部材が半導体レーザーダイオードチップによって生ずる熱流の方向と平行になるように形成される。

【0022】さらに、本発明の半導体レーザーモジュールにおける金属基板は、前記第1の金属部材を複数個に分割し、前記第2の金属部材の全面にほぼ等間隔で配置して形成することができる。

【0023】

【発明の実施の形態】次に、本発明の実施の形態について図面を参照して説明する。

【0024】図1(a)、(b)はそれぞれ本発明の一実施の形態を示す半導体レーザーモジュール主要部の断面図およびその金属基板の斜視図である。図1(a)に示すように、本実施の形態の半導体レーザーモジュールは、LDチップ1やこのLDチップ1を一定の温度に保つためのサーミスタ11をヒートシンク2およびサブマウント3を介して、光学系のレンズ(ここでは、図示省略)とともに搭載する金属基板10と、上下の面にセラミック基板9A、9Bを備えたベルチェ素子7とをハードソルダ12により接着して形成される。この金属基板10は、LDチップ1からの熱流がベルチェ素子7へ向かう方向とは垂直になる方向に、ベルチェ素子7の上面に接着される。特に、この金属基板10は、LDチップ1の直下を含む基板中央部に第1の金属部材13を配置し、その側面周囲に第2の金属部材14を配置するように形成している。

【0025】また、図1(b)に示すように、金属基板10は、第1の金属部材13を熱伝導率の大きい金属材で形成し、また第2の金属部材14を第1の金属部材13よりも熱膨張率の小さい金属材で形成する。例えば、30%銅タングステン (CuW-30) より大きい熱伝導率を有する金属部材13の側面周囲に、コパールから20%銅タングステン (CuW-20) の間の熱膨張率を有する金属部材14を形成した構造である。すなわち、このような構造を備えた半導体レーザーモジュールを駆動させるとき、LDチップ1を一定の温度に保つため、サーミスタ11によって温度をセンサアップし、冷却機能付き半導体レーザーモジュールの外部に設けた温度調回路等によりベルチェ素子7の電流量を制御してい

る。このLDチップ1は、周囲温度が低い程、性能が向上し、一般には室温に制御される。

【0026】一方、LDチップ1が高出力化することにより、発熱量が増大すると、ペルチェ素子7の能力を上げると同時に、LDチップ1からパッケージ放熱板までの放熱経路の熱抵抗を極力下げなければならない。

【0027】図2は図1におけるモジュールの放熱効果を説明するモジュール主要部の断面図である。図2に示すように、半導体レーザーモジュールにおいて、LDチップ1から発した熱は、広がり角度(計算上90度)21で伝わり、ヒートシンク2、サブマウント3、金属基板10を経て、ペルチェ素子7の上部に達する。このとき、第1の金属部材13の面積が熱流範囲18よりも大きければ、冷却性能に問題はないが、熱膨張が大きくなって信頼度上問題が生ずる場合は、サブマウント3が接

着している範囲の金属基板10の熱伝導率を所定値以上になるように、第1の金属部材13の金属基板10に対する面積比を小さく設定すればよい。なお、19、20は、それぞれ第2の金属部材14および第1の金属部材13の熱抵抗であり、後述する具体例で詳細に説明する。

【0028】このように、LDチップ1からペルチェ素子7に至る経路の熱抵抗19、20の大小が、ペルチェ素子7の冷却能力に大きく影響してくる。かかるペルチェ素子7の上部に搭載する金属基板10の材質としては、表1に示すような金属材料が用いられるが、その際熱抵抗19、20を小さくするため、熱伝導率の大きい材質を選択する必要がある。

【0029】

【表1】

材 質	熱 伝 導 率 W/mK	熱 膨 張 率 $\times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$
(金属)		
タングステン (W)	17	4.5
コバール (Kovar)	17	5.3
鉄 (Fe)	75	11.7
20%銅モリブデン (CMC-20)	200	8.0
10%銅タングステン (CuW-10)	210	6.5
15%銅タングステン (CuW-15)	230	7.0
20%銅タングステン (CuW-20)	250	8.5
30%銅タングステン (CuW-30)	290	10.9
銅 (Cu)	390	16.5
(セラミック)		
アルミナ (Al_2O_3)	17	6.7
窒化アルミ (AlN)	200	4.5
炭化シリコン (SiC)	270	3.7
窒化ボロン (BN)	600	3.7

【0030】図3は図2における放熱経路材料の熱伝導率とチップの温度変化のシミュレーション特性図である。図3に示すように、この特性は、LDチップ1を印加電力1ワットで駆動させたとき、チップ温度に対する放熱経路材料の熱伝導率依存性をシミュレーションしたものである。このシミュレーション特性によれば、約300ワット/mK(但し、m:メートル、K:絶対温

度)以上の熱伝導率を有する材質を用いれば、チップ温度を効率良く下げられることを示している。したがって、モジュールの冷却性能を向上させるためには、ペルチェ素子7上に搭載する金属基板10として、30%銅タングステン以上の熱伝導率を有する材質を選べば良いことになる。

【0031】しかし、ペルチェ素子7を構成するセラミ

ック板9A、9Bは、前述した表1のセラミック材質が用いられている。しかるに、熱膨張率が金属基板10の材質と比べて小さいため、金属ハードソルダで接着していると、温度の変化によって大きな応力を発生し、ペルチェ素子7を劣化させたり、破壊させることが判っている。

【0032】このため、本実施の形態においては、金属基板10を形成するにあたり、前述した熱伝導率の高い第1の金属部材13の側面周囲に、熱膨張率の小さい第2の金属部材14を配置させることにより、金属基板全体の熱膨張を小さくするとともに、熱伝導を良くすることができるので、冷却性能を向上させると同時に、ペルチェ素子信頼度を高めることができる。

【0033】なお、前述した図7(b)の金属基板10aは、熱流の方向に垂直に各材質が配置されており、このときの熱伝導率は、 200W/mK と小さい。

【0034】次に、上述した金属基板10の具体例を図2および表1を基に説明する。第1の金属部材13として、表1に記載した熱伝導率の大きい(390W/mK)銅(Cu)を選択し、その側面周囲に配置する第2の金属部材14として、表1に記載した熱膨張率の小さい($6.5 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$)10%銅タングステン(CuW-10)を選択する。この金属基板10の作成方法は、各材質をろう付けまたは浸透法により、10%銅タングステン作製時に銅の部分を一括成形するなどの方法を用いる。また、金属基板10全体に対する第1の金属部材13としての銅の面積比は、サブマウント3の接着面積、第2の金属部材14としての10%銅タングステンの熱抵抗、金属基板10全体の許容熱膨張率値によって決定される。さらに、この許容熱膨張率値は、接着面積、温度環境、ソルダの硬度・厚さ等によって変化する。

【0035】なお、前述したように、信頼度上問題がある場合は、サブマウント3が接着している範囲の金属基板10の熱伝導率が約 300W/mK 以上になるように第1の金属部材13としての銅の面積比を小さく設計すればよい。

【0036】また、サブマウント3が金属基板10に接着している部分の10%銅タングステン熱抵抗19を $R_{cw} (^{\circ}\text{C/W})$ 、銅の熱抵抗20を $R_{cc} (^{\circ}\text{C/W})$ とすると、サブマウント3が接着している範囲の金属基板10の熱伝導率 $\lambda (\text{W/mK})$ 、 R_{cw} 、 R_{cc} は、それぞれつぎの式で表わされる。

$$\lambda = (1/R_{cw}) + (1/R_{cc})$$

$$R_{cw} = (1/\lambda_{cw}) \times (L/Scw)$$

$$R_{cc} = (1/\lambda_{cc}) \times (L/Scs)$$

なお、上述した式において、 λ_{cw} 、 Scw 、 λ_{cc} 、 Scs 、 L は、以下のとおり定義される。

【0038】

λ_{cw} : CuW-10の熱伝導率 (W/mK)

Scw : CuW-10とサブマウントの接着面積 (m^2)

λ_{cc} : 銅の熱伝導率 (W/mK)

Scs : 銅とサブマウントの接着面積 (m^2)

L : 金属基板10の厚さ (m)

前述した表1より、 $\lambda \geq 300$ となるように、接着面積 Scs を求めればよいことになる。

【0039】以上説明したように、本実施の形態によれば、30%銅タングステン(CuW-30)の熱伝導率より大きい熱伝導率を持った第1の金属部材13の側面周囲に、コパールから20%銅タングステン(CuW-20)の間の熱膨張率を有する第2の金属部材14を配置した金属基板10を設け、それをペルチェ素子7と接着する半導体レーザーモジュールを形成することにより、LDチップ1より発熱した熱は、主に直下のヒートシンクを通り、サブマウントを経て金属基板10へ達する。この発熱は、ペルチェ素子7の吸熱作用により、その上部から下部へと輸送され、最後にはパッケージ放熱板から外部へ放出される。

【0040】要するに、熱伝導率の大きい金属部材の周囲に熱膨張率の小さい金属部材を配置して金属基板を形成することにより、熱伝導率の大きな金属部材により多くの熱流が通り、高熱伝導特性を確保するので、ペルチェ素子による冷却能力を向上させることができる。また、温度変化が生じて、熱伝導率の大きな金属部材の熱膨張が熱膨張率の小さい金属部材によって抑制されるため、低熱膨張特性を確保され、ペルチェ素子へのダメージを少なくすることができる。したがって、温度変化環境化での信頼性の向上を図ることができる。

【0041】図4(a)、(b)はそれぞれ本発明の他の実施の形態を示す半導体レーザーモジュール主要部の断面図およびその金属基板の斜視図である。図4(a)に示すように、本実施の形態における半導体レーザーモジュールは、前述した一実施の形態と同様に、LDチップ1などをヒートシンク2およびサブマウント3を介して搭載した金属基板10と、セラミック板9A、9Bを上下に備えたペルチェ素子7とを備え、これらをハードソルダ12により接着する。本実施の形態では、特に金属基板10の形成にあたり、第1の金属部材13を中央に集中させるのではなく、第2の金属部材14の全面に且つほぼ等間隔になるように分散させたものである。

【0042】また、図4(b)に示すように、金属基板10は、熱伝導率の大きい円形の銅材からなる第1の金属部材13を複数個ほぼ等間隔に配置し、その周囲を熱膨張率の小さな10%銅タングステンからなる第2の金属部材14で囲むように形成する。これら円形の銅材からなる第1の金属部材13の寸法および数量については、前述した一実施の形態と同様に決定することができる。

【0043】このように、第1の金属部材13を複数に

分割させ、しかもこれらを縦方向に形成、すなわち、LDチップ1によって生ずる熱流の方向に対し、金属部材13、金属部材14が平行になるように金属基板10を形成することにより、金属部材13が小さく分散されるので、熱膨張率を前述した図1の実施の形態よりも小さく抑えることができるという利点がある。

【0044】なお、上述した第1の金属部材13の材質および形状や寸法については、これらに限定されることなく、各種の変形が可能である。

【0045】

【発明の効果】以上説明したように、本発明の半導体レーザーモジュールは、半導体レーザーダイオードチップや光学系レンズを搭載する金属基板およびセラミック板を持ったペルチェ素子を金属溶ダを介して接着し、その金属基板を熱伝導率の大きい第1の金属部材と、その第1の金属部材の側面周囲に配置し且つ第1の金属部材よりも熱膨張率を小さくした第2の金属部材とで形成することにより、金属基板自体の熱伝導率を大きくでき、レーザーダイオードチップからの発熱を有効に放散することができるので、レーザーダイオードチップの高出力動作下での冷却能力を向上できるという効果がある。

【0046】また、本発明の半導体レーザーモジュールは、上述した構成により、ペルチェ素子上部に搭載した金属基板の熱膨張率と、ペルチェ素子を形成するセラミック板の熱膨張率との差を小さくすることができるので、温度変化によるペルチェ素子に対する応力を小さくでき、したがって温度変化環境下でもペルチェ素子の劣化や破壊を防ぎ、高信頼度を実現できるという効果がある。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明の一実施の形態を示す半導体レーザーモジュール主要部の断面およびその金属基板の斜視状態を

表わす図である。

【図2】図1におけるモジュールの放熱効果を説明するモジュール主要部の断面図である。

【図3】図2における放熱経路材料の熱伝導率とチップの温度変化のシミュレーション特性図である。

【図4】本発明の他の実施の形態を示す半導体レーザーモジュール主要部の断面およびその金属基板の斜視状態を表わす図である。

【図5】従来の一例を示す半導体レーザーモジュールの構成図である。

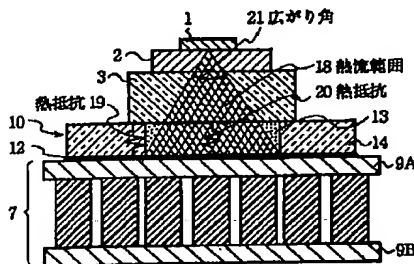
【図6】図5における半導体レーザーモジュールのA-A'断面図である。

【図7】図6の金属基板の2つの例を表わす斜視図である。

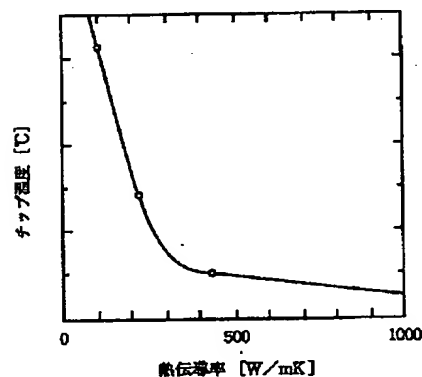
【符号の説明】

- 1 レーザーダイオード(LD)チップ
- 2 ヒートシンク
- 3 サブマウント
- 4 フォトダイオードチップ
- 5 チップキャリア
- 6 レンズホルダ
- 7 ペルチェ素子
- 8 パッケージ放熱板
- 9A, 9B セラミック板
- 10 金属基板
- 11 サーミスタ
- 12 ハード溶ダ
- 13 第1の金属材(銅)
- 14 第2の金属材(10%銅タングステン)
- 18 熱流範囲
- 19, 20 熱抵抗
- 21 広がり角

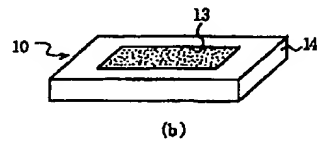
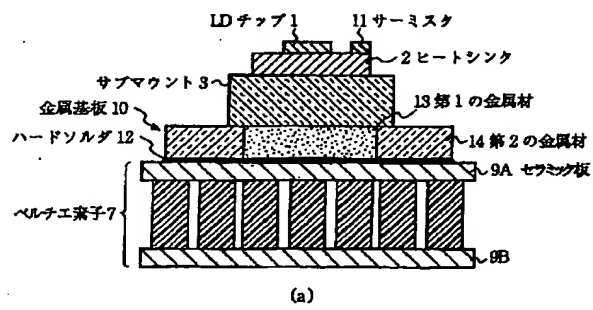
【図2】



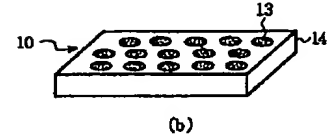
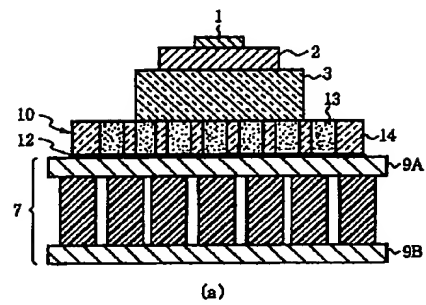
【図3】



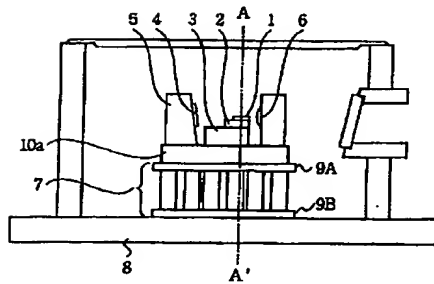
【図1】



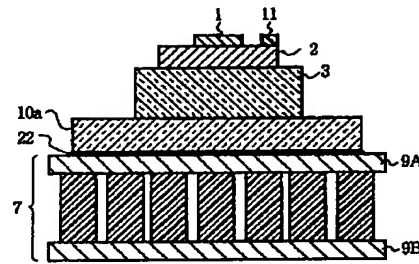
【図4】



【図5】



【図6】



【図7】

